

PCT/JP 2004/016281

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

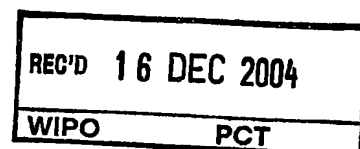
27.10.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 3 年 1 0 月 2 9 日

出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 3 - 3 6 8 4 7 0
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 3 6 8 4 7 0]



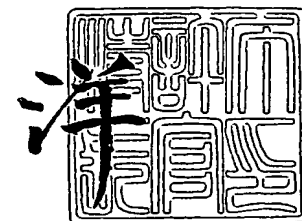
出 願 人
Applicant(s): 株式会社アドバンテスト

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 1 2 月 2 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 1 0 9 8 7 (

【書類名】 特許願
【整理番号】 11084
【提出日】 平成15年10月29日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H04L 27/22
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都練馬区旭町 1 丁目 3 2 番 1 号 株式会社アドバンテスト
 内
 【氏名】 野原 健児
【特許出願人】
 【識別番号】 390005175
 【氏名又は名称】 株式会社アドバンテスト
【代理人】
 【識別番号】 100097490
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 細田 益稔
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 082578
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 0018593

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

サンプリング周波数でサンプリングされた受信信号のサンプリング点と前記受信信号のシンボル点との間の時間遅延値を決定することにより前記受信信号のシンボル点を推定するシンボル点推定装置であって、

理想信号の周波数成分の複素共役と前記受信信号の周波数成分との乗算結果と、サンプリング角周波数との積和を出力する乗算積和出力手段と、

前記乗算積和出力手段の出力に基づき、前記理想信号と前記受信信号との間の誤差成分が最小となるように、前記時間遅延値を決定する時間遅延値決定手段と、
を備えたシンボル点推定装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のシンボル点推定装置であって、

前記乗算積和出力手段は、

前記理想信号の周波数成分の複素共役と前記受信信号の周波数成分との乗算結果を出力する周波数成分乗算出力手段と、

前記周波数成分乗算出力手段の出力と前記サンプリング角周波数との積和を出力する積和出力手段と、

を有するシンボル点推定装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載のシンボル点推定装置であって、

前記周波数成分乗算出力手段は、

前記理想信号の周波数成分を出力する理想信号周波数成分出力手段と、

前記受信信号の周波数成分を出力する受信信号周波数成分出力手段と、

前記理想信号周波数成分出力手段の出力の複素共役を出力する複素共役出力手段と、

前記複素共役出力手段の出力と前記受信信号周波数成分出力手段の出力とを乗算して出力する周波数成分乗算出力手段と、

を有するシンボル点推定装置。

【請求項 4】

請求項 2 に記載のシンボル点推定装置であって、

前記周波数成分乗算出力手段は、

前記理想信号の複素共役と前記受信信号との畳み込み積分を出力する畳み込み積分出力手段と、

前記畳み込み積分出力手段の出力の周波数成分を出力する周波数成分出力手段と、

を有するシンボル点推定装置。

【請求項 5】

請求項 2 に記載のシンボル点推定装置であって、

前記積和出力手段は、

前記周波数成分乗算出力手段の出力の実部と前記サンプリング角周波数との積和を出力する実部積和手段と、

前記周波数成分乗算出力手段の出力の虚部と前記サンプリング角周波数との積和を出力する虚部積和手段と、

前記実部積和手段の出力を実部とし、前記虚部積和手段の出力を虚部とした複素数を出力する複素数出力手段と、

を有するシンボル点推定装置。

【請求項 6】

請求項 1 に記載のシンボル点推定装置であって、

前記時間遅延値決定手段は、前記乗算積和出力手段の出力の偏角と、サンプリング角周波数と、前記誤差成分を計算するために使用する前記受信信号の成分の個数である誤差計算長とに基づき、前記時間遅延値を決定する、

シンボル点推定装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載のシンボル点推定装置であって、
前記時間遅延値決定手段は、
前記乗算積和出力手段の出力を受け、その偏角を出力する偏角出力手段と、
前記偏角出力手段の出力と、前記サンプリング角周波数と、前記誤差計算長とに基づき
前記時間遅延値を計算する時間遅延値計算手段と、
を有するシンボル点推定装置。

【請求項 8】

サンプリング周波数でサンプリングされた受信信号のサンプリング点と前記受信信号の
シンボル点との間の時間遅延値を決定することにより前記受信信号のシンボル点を推定す
るシンボル点推定方法であって、

理想信号の周波数成分の複素共役と前記受信信号の周波数成分との乗算結果と、サンプ
リング角周波数との積和を出力する乗算積和出力工程と、

前記乗算積和出力工程の出力に基づき、前記理想信号と前記受信信号との間の誤差成分
が最小となるように、前記時間遅延値を決定する時間遅延値決定工程と、

を備えたシンボル点推定方法。

【請求項 9】

サンプリング周波数でサンプリングされた受信信号のサンプリング点と前記受信信号の
シンボル点との間の時間遅延値を決定することにより前記受信信号のシンボル点を推定す
るシンボル点推定処理をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、

理想信号の周波数成分の複素共役と前記受信信号の周波数成分との乗算結果と、サンプ
リング角周波数との積和を出力する乗算積和出力処理と、

前記乗算積和出力処理の出力に基づき、前記理想信号と前記受信信号との間の誤差成分
が最小となるように、前記時間遅延値を決定する時間遅延値決定処理と、

をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【請求項 10】

サンプリング周波数でサンプリングされた受信信号のサンプリング点と前記受信信号の
シンボル点との間の時間遅延値を決定することにより前記受信信号のシンボル点を推定す
るシンボル点推定処理をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュ
ータによって読み取り可能な記録媒体であって、

理想信号の周波数成分の複素共役と前記受信信号の周波数成分との乗算結果と、サンプ
リング角周波数との積和を出力する乗算積和出力処理と、

前記乗算積和出力処理の出力に基づき、前記理想信号と前記受信信号との間の誤差成分
が最小となるように、前記時間遅延値を決定する時間遅延値決定処理と、

をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータによって読み取
り可能な記録媒体。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 シンボル点推定装置、方法、プログラムおよび記録媒体

【技術分野】

【0001】

本発明は、信号のシンボル点の推定に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、受信信号の復調および受信信号の変調解析が行なわれている。この際、信号のシンボル点を正確に測定する必要がある。受信信号のシンボル点の測定は、(1) 受信信号のA/D変換、(2) ノイズ除去のためにフィルタを通す、(3) シンボルレート成分の取り出し、(4) 位相の計算、(5) 位相の時間遅延量への変換、といった工程を必要とする(例えば、特許文献1を参照)。

【0003】

【特許文献1】 特開2003-152816号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上記のような従来技術においては、ノイズ除去のためのフィルタが受信信号の周波数特性に悪影響を及ぼすようなものであった場合、信号のシンボル点の測定が正確には行なえない。しかも、エイリアジング防止のため、受信信号のA/D変換の際にはオーバーサンプリングを行なう必要がある。このため、受信信号をA/D変換したものを記録するために必要なメモリ容量が大きくなってしまう。

【0005】

そこで、本発明は、受信信号のシンボル点の測定を、より正確に行なうことを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

請求項1に記載の発明は、サンプリング周波数でサンプリングされた受信信号のサンプリング点と受信信号のシンボル点との間の時間遅延値を決定することにより受信信号のシンボル点を推定するシンボル点推定装置であって、理想信号の周波数成分の複素共役と受信信号の周波数成分との乗算結果と、サンプリング角周波数との積和を出力する乗算積和出力手段と、乗算積和出力手段の出力に基づき、理想信号と受信信号との間の誤差成分が最小となるように、時間遅延値を決定する時間遅延値決定手段とを備えるように構成される。

【0007】

上記のように構成された発明によれば、サンプリング周波数でサンプリングされた受信信号のサンプリング点と受信信号のシンボル点との間の時間遅延値を決定することにより受信信号のシンボル点を推定するシンボル点推定装置が提供される。

【0008】

乗算積和出力手段は、理想信号の周波数成分の複素共役と受信信号の周波数成分との乗算結果と、サンプリング角周波数との積和を出力する。時間遅延値決定手段は、乗算積和出力手段の出力に基づき、理想信号と受信信号との間の誤差成分が最小となるように、時間遅延値を決定する。

【0009】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の発明であって、乗算積和出力手段は、理想信号の周波数成分の複素共役と受信信号の周波数成分との乗算結果を出力する周波数成分乗算出力手段と、周波数成分乗算出力手段の出力とサンプリング角周波数との積和を出力する積和出力手段とを有するように構成される。

【0010】

請求項3に記載の発明は、請求項2に記載の発明であって、周波数成分乗算出力手段は

、理想信号の周波数成分を出力する理想信号周波数成分出力手段と、受信信号の周波数成分を出力する受信信号周波数成分出力手段と、理想信号周波数成分出力手段の出力の複素共役を出力する複素共役出力手段と、複素共役出力手段の出力と受信信号周波数成分出力手段の出力とを乗算して出力する周波数成分乗算出力手段とを有するように構成される。

【0011】

請求項4に記載の発明は、請求項2に記載の発明であって、周波数成分乗算出力手段は、理想信号の複素共役と受信信号との畳み込み積分を出力する畳み込み積分出力手段と、畳み込み積分出力手段の出力の周波数成分を出力する周波数成分出力手段とを有するように構成される。

【0012】

請求項5に記載の発明は、請求項2に記載の発明であって、積和出力手段は、周波数成分乗算出力手段の出力の実部とサンプリング角周波数との積和を出力する実部積和手段と、周波数成分乗算出力手段の出力の虚部とサンプリング角周波数との積和を出力する虚部積和手段と、実部積和手段の出力を実部とし、虚部積和手段の出力を虚部とした複素数を出力する複素数出力手段とを有するように構成される。

【0013】

請求項6に記載の発明は、請求項1に記載の発明であって、時間遅延値決定手段は、乗算積和出力手段の出力の偏角と、サンプリング角周波数と、誤差成分を計算するために使用する受信信号の成分の個数である誤差計算長とに基づき、時間遅延値を決定するように構成される。

【0014】

請求項7に記載の発明は、請求項6に記載の発明であって、時間遅延値決定手段は、乗算積和出力手段の出力を受け、その偏角を出力する偏角出力手段と、偏角出力手段の出力と、サンプリング角周波数と、誤差計算長とに基づき、時間遅延値を計算する時間遅延値計算手段とを有するように構成される。

【0015】

請求項8に記載の発明は、サンプリング周波数でサンプリングされた受信信号のサンプリング点と受信信号のシンボル点との間の時間遅延値を決定することにより受信信号のシンボル点を推定するシンボル点推定方法であって、理想信号の周波数成分の複素共役と受信信号の周波数成分との乗算結果と、サンプリング角周波数との積和を出力する乗算積和出力工程と、乗算積和出力工程の出力に基づき、理想信号と受信信号との間の誤差成分が最小となるように、時間遅延値を決定する時間遅延値決定工程とを備えるように構成される。

【0016】

請求項9に記載の発明は、サンプリング周波数でサンプリングされた受信信号のサンプリング点と受信信号のシンボル点との間の時間遅延値を決定することにより受信信号のシンボル点を推定するシンボル点推定処理をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、理想信号の周波数成分の複素共役と受信信号の周波数成分との乗算結果と、サンプリング角周波数との積和を出力する乗算積和出力処理と、乗算積和出力処理の出力に基づき、理想信号と受信信号との間の誤差成分が最小となるように、時間遅延値を決定する時間遅延値決定処理とをコンピュータに実行させるためのプログラムである。

【0017】

請求項10に記載の発明は、サンプリング周波数でサンプリングされた受信信号のサンプリング点と受信信号のシンボル点との間の時間遅延値を決定することにより受信信号のシンボル点を推定するシンボル点推定処理をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータによって読み取り可能な記録媒体であって、理想信号の周波数成分の複素共役と受信信号の周波数成分との乗算結果と、サンプリング角周波数との積和を出力する乗算積和出力処理と、乗算積和出力処理の出力に基づき、理想信号と受信信号との間の誤差成分が最小となるように、時間遅延値を決定する時間遅延値決定処理とをコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータによって読み取り可能な

記録媒体である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下、本発明の実施形態を図面を参照しながら説明する。

【0019】

図1は、本発明の実施形態にかかるシンボル点推定装置1の構成を示すブロック図である。シンボル点推定装置1は、受信信号 $z(k)$ のシンボル点を推定するためのものである。シンボル点を推定することにより、受信信号 $z(k)$ の復調あるいは受信信号 $z(k)$ の変調解析を行なうことができる。受信信号 $z(k)$ のシンボル点の推定は、サンプリング周波数 f_s でサンプリングされた受信信号 $z(k)$ のサンプリング点と受信信号 $z(k)$ のシンボル点との間の時間遅延値 τ を決定することにより行なうことができる。

【0020】

シンボル点推定装置1は、乗算積和出力部10、時間遅延値決定部20を備える。

【0021】

乗算積和出力部10は、理想信号 $r(k)$ の周波数成分 $R(n)$ の複素共役 $R(n)^*$ と受信信号 $z(k)$ の周波数成分 $Z(n)$ との乗算結果 $Y(n) = Z(n)R(n)^*$ と、サンプリング角周波数 $\Delta\omega (=2\pi f_s/N)$ との積和 $Ae^{j\theta}$ を出力する。ただし、 N は後述するように、EVM計算長である。また、理想信号 $r(k)$ は受信信号 $z(k)$ から作成されたものである。なお、EVM(error vector magnitude)は、図2に示すように、理想信号 $r(k)$ と受信信号 $z(k)$ との間の誤差成分である。EVMは下記の式(1)のように定義される。ただし、 N はEVM計算長である。

【0022】

【数1】

$$EVM = \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^{N-1} |z_k - r_k|^2}{\sum_{k=0}^{N-1} |r_k|^2}} \times 100 \quad [\%rms] \quad (1)$$

乗算積和出力部10は、周波数成分乗算出力部12、積和出力部14を有する。

【0023】

周波数成分乗算出力部12は、理想信号 $r(k)$ の周波数成分 $R(n)$ の複素共役 $R(n)^*$ と受信信号 $z(k)$ の周波数成分 $Z(n)$ との $Y(n) = Z(n)R(n)^*$ を出力する。周波数成分乗算出力部12の構成を図3に示す。周波数成分乗算出力部12は、FFT部(理想信号周波数成分出力手段)122、FFT部(受信信号周波数成分出力手段)124、複素共役出力部126、乗算器(周波数成分乗算出力手段)128を有する。

【0024】

FFT部(理想信号周波数成分出力手段)122は、理想信号 $r(k)$ をFFT(fast Fourier transform)し、その結果を出力する。理想信号 $r(k)$ をFFTした結果が、理想信号 $r(k)$ の周波数成分 $R(n)$ である。

【0025】

FFT部(受信信号周波数成分出力手段)124は、受信信号 $z(k)$ をFFT(fast Fourier transform)し、その結果を出力する。受信信号 $z(k)$ をFFTした結果が、受信信号 $z(k)$ の周波数成分 $Z(n)$ である。

【0026】

複素共役出力部126は、FFT部(理想信号周波数成分出力手段)122の出力 $R(n)$ の複素共役 $R(n)^*$ を出力する。

【0027】

乗算器 (周波数成分乗算出力手段) 128 は、複素共役出力部 126 の出力 $R(n)^*$ と FFT 部 (受信信号周波数成分出力手段) 124 の出力 $Z(n)$ と乗算して出力する。この出力が、 $Y(n)$
 $= Z(n)R(n)^*$ である。

【0028】

なお、周波数成分乗算出力部 12 の構成の変形例を図 4 に示す。図 4 に示すように、周波数成分乗算出力部 12 は、複素共役出力部 121、畳み込み積分出力部 123、FFT 部 (周波数成分出力手段) 125 を有する。

【0029】

複素共役出力部 121 は、理想信号 $r(k)$ の複素共役 $r(k)^*$ を出力する。

【0030】

畳み込み積分出力部 123 は、複素共役出力部 121 の出力 $r(k)^*$ と、受信信号 $z(k)$ との畳み込み積分を出力する。

【0031】

FFT 部 (周波数成分出力手段) 125 は、畳み込み積分出力部 123 の出力を FFT (fast Fourier transform) し、その結果を出力する。畳み込み積分出力部 123 の出力を FFT した結果が、 $Y(n) = Z(n)R(n)^*$ となる。

【0032】

積和出力部 14 は、周波数成分乗算出力部 12 の出力 $Y(n)$ とサンプリング角周波数 $\Delta\omega$ との積和 $Ae^{j\theta}$ を出力する。

【0033】

積和出力部 14 の構成を図 5 に示す。積和出力部 14 は、実部取得部 141、実部積和部 142、虚部取得部 143、虚部積和部 144、複素数出力部 146 を有する。

【0034】

実部取得部 141 は、 $Y(n)$ の実部 $I(n)$ を取得する。

【0035】

実部積和部 142 は、 $I(n)$ とサンプリング角周波数 $\Delta\omega$ との積和を出力する。 $I(n)$ と $\Delta\omega$ との積和は下記の式 (2) のように定義される。

【0036】

【数 2】

$$\sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |n| \Delta\omega I(n) \quad (2)$$

虚部取得部 143 は、 $Y(n)$ の虚部 $Q(n)$ を取得する。

【0037】

虚部積和部 144 は、 $Q(n)$ とサンプリング角周波数 $\Delta\omega$ との積和を出力する。 $Q(n)$ と $\Delta\omega$ との積和は下記の式 (3) のように定義される。

【0038】

【数 3】

$$\sum_{n=-N/2}^{N/2-1} n \Delta \omega Q(n) \quad (3)$$

複素数出力部 146 は、実部積和部 142 の出力を実部とし、虚部積和部 144 の出力を虚部とした複素数を入力する。複素数出力部 146 の出力が $Ae^{j\theta}$ である。複素数出力部 146 は、乗算器 146a、加算器 146b を有する。乗算器 146a は、虚部積和部 144 の出力に j (ただし、 $j^2 = -1$) を乗じて、虚数とする。加算器 146b は、実部積和部 142 の出力に、乗算器 146a の出力を加える。加算器 146b の出力が $Ae^{j\theta}$ である。

【0039】

時間遅延値決定部 20 は、乗算積和出力部 10 の出力 $Ae^{j\theta}$ に基づき、理想信号 $r(k)$ と受信信号 $z(k)$ との間の誤差成分 (EVM) が最小となるように、時間遅延値 τ を決定する。

【0040】

EVM は、下記の式 (4) により定義されるエラー成分 ε を正規化し、ルートをとったものである。

【0041】

【数 4】

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \sum_{k=0}^{N-1} |z(k-\tau) - r(k)|^2 \\ &= \sum_{k=0}^{N-1} |z(k-\tau)|^2 + \sum_{k=0}^{N-1} |r(k)|^2 - 2 \operatorname{Re} \left[\sum_{k=0}^{N-1} z(k-\tau) r^*(k) \right] \end{aligned} \quad (4)$$

よって、EVM を最小とするためには、エラー成分 ε を最小とすればよい。エラー成分 ε が最小となる場合、下記の式 (5) が成立する。すなわち、エラー成分 ε を時間遅延値 τ で偏微分した値が 0 となる。

【0042】

【数 5】

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} = 0 \quad (5)$$

よって、式 (5) を時間遅延値 τ について解けば、EVM が最小となるような時間遅延値 τ が決定できる。式 (5) を時間遅延値 τ について解くことにより、式 (6) を得る (証

明は後述する)。

【0043】

【数6】

$$\tau = \frac{4\theta}{\Delta\omega N} \quad (6)$$

よって、時間遅延値決定部20は、乗算積和出力部10の出力 $Ae^{j\theta}$ の偏角 θ と、サンプリング角周波数 $\Delta\omega$ と、EVM計算長 N とに基づき、時間遅延値 τ を決定できる。

【0044】

時間遅延値決定部20の構成を図6に示す。時間遅延値決定部20は、偏角出力部22、時間遅延値計算部24を有する。

【0045】

偏角出力部22は、乗算積和出力部10の出力 $Ae^{j\theta}$ を受け、その偏角 θ を出力する。時間遅延値計算部24は、偏角出力部22の出力 θ と、サンプリング角周波数 $\Delta\omega$ と、誤差計算長 N とに基づき、時間遅延値 τ を計算する。具体的には、式(6)の右辺に、 θ 、 $\Delta\omega$ 、 N を代入して、時間遅延値 τ を計算する。このようにして決定された時間遅延値 τ は、式(5)を成立させるので、エラー成分 ϵ を最小とすることができる。よって、誤差成分(EVM)を最小にできる。

【0046】

次に、本発明の実施形態の動作を説明する。

【0047】

まず、受信信号 $z(k)$ から理想信号 $r(k)$ を作成する。そして、受信信号 $z(k)$ および理想信号 $r(k)$ を乗算積和出力部10の周波数成分乗算出力部12に与える。周波数成分乗算出力部12は、 $Y(n) = Z(n)R(n)^*$ を出力する。 $Y(n)$ は、積和出力部14により、サンプリング角周波数 $\Delta\omega$ との積和をとられて、 $Ae^{j\theta}$ となって出力される。

【0048】

$Ae^{j\theta}$ は時間遅延値決定部20に与えられる。時間遅延値決定部20は、 $Ae^{j\theta}$ の偏角 θ と、サンプリング角周波数 $\Delta\omega$ と、EVM計算長 N とに基づき、時間遅延値 τ を決定する。決定された時間遅延値 τ によれば、EVMを最小にすることができる。

【0049】

本発明の実施形態によれば、受信信号 $z(k)$ および理想信号 $r(k)$ の周波数成分($Z(n)$ 、 $R(n)$)を利用して、時間遅延値 τ を決定できる。そして、時間遅延値 τ を利用して、受信信号 $z(k)$ のシンボル点の推定を行なうことができる。ここで、周波数成分($Z(n)$ 、 $R(n)$)を利用したため、従来のように時間成分($z(k)$ 、 $r(k)$)を利用する場合に比べて、受信信号 $z(k)$ のシンボル点の推定をより正確に行なうことができる。

【0050】

また、上記の実施形態は、以下のようにして実現できる。CPU、ハードディスク、メディア(フロッピー(登録商標)ディスク、CD-ROMなど)読み取り装置を備えたコンピュータのメディア読み取り装置に、上記の各部分(例えば、乗算積和出力部10および時間遅延値決定部20)を実現するプログラムを記録したメディアを読み取らせて、ハードディスクにインストールする。このような方法でも、上記の機能を実現できる。

【0051】

[式(5)から式(6)が導かれることの証明]

まず、エラー成分 ϵ を、理想信号の周波数成分 $R(n)$ および受信信号の周波数成分 $Z(n)$ を用いて表す。

【0052】

まず、 z および r の離散フーリエ変換対は、 $z(k) \leftrightarrow Z(n)$ 、 $r(k) \leftrightarrow R(n)$ である。このとき、

Parsevalの等式より、下記の式(7)が成立する。

【0053】

【数7】

$$\left. \begin{aligned} \sum_{k=0}^{N-1} |z(k)|^2 &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |Z(n)|^2 \\ \sum_{k=0}^{N-1} |r(k)|^2 &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |R(n)|^2 \\ \sum_{k=0}^{N-1} z(k)r^*(k) &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} Z(n)R^*(n) \end{aligned} \right\} (7)$$

ここで、 $Z(n)$ 、 $R(n)$ は、 $Z(n) = Z(n-N)$ 、 $R(n) = R(n-N)$ が成り立つので、式(7)は下記の式(8)のように書き直せる。

【0054】

【数8】

$$\left. \begin{aligned} \sum_{k=0}^{N-1} |z(k)|^2 &= \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |Z(n)|^2 \\ \sum_{k=0}^{N-1} |r(k)|^2 &= \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |R(n)|^2 \\ \sum_{k=0}^{N-1} z(k)r^*(k) &= \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} Z(n)R^*(n) \end{aligned} \right\} (8)$$

また、時間軸推移の定理から、下記の式(9)が成り立つ。

【0055】

【数9】

$$z(k-\tau) \Leftrightarrow e^{-jn\Delta\omega\tau} Z(n) \quad (9)$$

式(8)、(9)を、エラー成分 ϵ を定義した式(4)に代入すると、下記の式(10)のようになる。

【0056】

【数 10】

$$\begin{aligned}
\varepsilon &= \sum_{k=0}^{N-1} |z(k-\tau)|^2 + \sum_{k=0}^{N-1} |r(k)|^2 - 2 \operatorname{Re} \left[\sum_{k=0}^{N-1} z(k-\tau) r^*(k) \right] \\
&= \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |e^{-jn\Delta\omega\tau} Z(n)|^2 + \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |R(n)|^2 - \frac{2}{N} \operatorname{Re} \left[\sum_{n=-N/2}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Z(n) R^*(n) \right] \\
&= \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |Z(n)|^2 + \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |R(n)|^2 - \frac{2}{N} \operatorname{Re} \left[\sum_{n=-N/2}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Z(n) R^*(n) \right] \\
&= \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |Z(n)|^2 + \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |R(n)|^2 - \frac{2}{N} \operatorname{Re} \left[\sum_{n=-N/2}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right] \quad (10)
\end{aligned}$$

ここで、式 (10) の第 3 項を変形して、下記の式 (11) を得る。

【0057】

【数 11】

$$\operatorname{Re} \left[\sum_{n=-N/2}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right] = \operatorname{Re} \left[\sum_{n=-N/2}^{-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) + \sum_{n=0}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right] \quad (11)$$

式 (11) は、実部のみ関係であり、虚部は関係が無い。よって、式 (11) の各項について複素共役をとっても、式 (11) は成立する。そこで、式 (11) の右辺の第 1 項について、複素共役をとって、式 (11) を変形し、下記の式 (12) を得る。

【0058】

【数 12】

$$\begin{aligned}
\operatorname{Re} \left[\sum_{n=-N/2}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right] &= \operatorname{Re} \left[\sum_{n=-N/2}^{-1} \{e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n)\}^* + \sum_{n=0}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right] \\
&= \operatorname{Re} \left[\sum_{n=-N/2}^{-1} e^{jn\Delta\omega\tau} Y^*(n) + \sum_{n=0}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right] \\
&= \operatorname{Re} \left[\sum_{n=1}^{N/2} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y^*(-n) + \sum_{n=0}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right] \quad (12)
\end{aligned}$$

式(10)に式(12)を代入すると、エラー成分 ε は下記の式(13)のように表される。

【0059】
【数13】

$$\varepsilon = \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |Z(n)|^2 + \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |R(n)|^2 - \frac{2}{N} \operatorname{Re} \left[\sum_{n=1}^{N/2} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y^*(-n) + \sum_{n=0}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right] \quad (13)$$

次に、エラー成分 ε を時間遅延値 τ で偏微分した値(式(5)の左辺)を求める。

【0060】

エラー成分 ε を時間遅延値 τ で偏微分した値は、下記の式(14)のようになる。

【0061】
【数14】

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} &= -\frac{2}{N} \frac{\partial \operatorname{Re} \left[\sum_{n=1}^{N/2} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y^*(-n) + \sum_{n=0}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right]}{\partial \tau} \\ &= -\frac{2}{N} \operatorname{Re} \left[\sum_{n=1}^{N/2} e^{-jn\Delta\omega\tau} (-jn\Delta\omega) Y^*(-n) + \sum_{n=0}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} (-jn\Delta\omega) Y(n) \right] \\ &= -\frac{2}{N} \operatorname{Im} \left[\sum_{n=1}^{N/2} e^{-jn\Delta\omega\tau} n\Delta\omega Y^*(-n) + \sum_{n=0}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} n\Delta\omega Y(n) \right] \quad (14) \end{aligned}$$

ここで、時間遅延値 τ は、ある程度小さいので、下記の式(15)のような関係が $n = 0 \sim N/2$ に対して成立する。

【0062】
【数15】

$$n\Delta\omega\tau = \frac{N}{4} \Delta\omega\tau \quad (15)$$

式(14)に式(15)を代入して、下記の式(16)を得る。

【0063】

【数 16】

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} &= -\frac{2}{N} \operatorname{Im} \left[e^{-j\frac{N}{4}\Delta\omega\tau} \left\{ \sum_{n=1}^{N/2} n\Delta\omega Y^*(-n) + \sum_{n=0}^{N/2-1} n\Delta\omega Y(n) \right\} \right] \\
&= -\frac{2}{N} \operatorname{Im} \left[e^{-j\frac{N}{4}\Delta\omega\tau} \left\{ \sum_{n=-N/2}^{N/2} n\Delta\omega I(n) + j \sum_{n=-N/2}^{N/2} n\Delta\omega Q(n) \right\} \right] \quad (16)
\end{aligned}$$

ここで、積和出力部 14 の定義によれば、

【0064】

【数 17】

$$\sum_{n=-N/2}^{N/2} n\Delta\omega I(n) + j \sum_{n=-N/2}^{N/2} n\Delta\omega Q(n) = Ae^{j\theta} \quad (17)$$

である。

【0065】

よって、式 (16) を下記の式 (18) のように書き直せる。

【0066】

【数 18】

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} &= -\frac{2}{N} \operatorname{Im} \left[e^{-j\frac{N}{4}\Delta\omega\tau} Ae^{j\theta} \right] \\
&= -\frac{2}{N} \operatorname{Im} \left[Ae^{-j\left(\frac{N}{4}\Delta\omega\tau - \theta\right)} \right] \quad (18)
\end{aligned}$$

最後に、エラー成分 ε を時間遅延値 τ で偏微分した値が 0 となる τ を求める。

【0067】

式 (18) が 0 になるには、下記の式 (19) が成立すればよい。複素数の偏角が 0° であれば、虚部が 0 になるからである。

【0068】

【数 19】

$$\frac{N}{4}\Delta\omega\tau - \theta = 0 \quad (19)$$

よって、式 (19) を τ について解けば、下記の式 (20) を得ることができる。

【0069】

【数20】

$$\tau = \frac{4\theta}{\Delta\omega N} \quad (20)$$

式 (20) は式 (6) と同一である。

【0070】

よって、式 (5) から式 (6) を導くことができる。

[証明終わり]

【図面の簡単な説明】

【0071】

【図1】本発明の実施形態にかかるシンボル点推定装置1の構成を示すブロック図である。

【0072】

【図2】理想信号 $r(k)$ と受信信号 $z(k)$ との間の誤差成分EVMを示す図である。

【0073】

【図3】周波数成分乗算出力部12の構成を示す図である。

【0074】

【図4】周波数成分乗算出力部12の構成の変形例を示す図である。

【0075】

【図5】積和出力部14の構成を示す図である。

【0076】

【図6】時間遅延値決定部20の構成を示す図である。

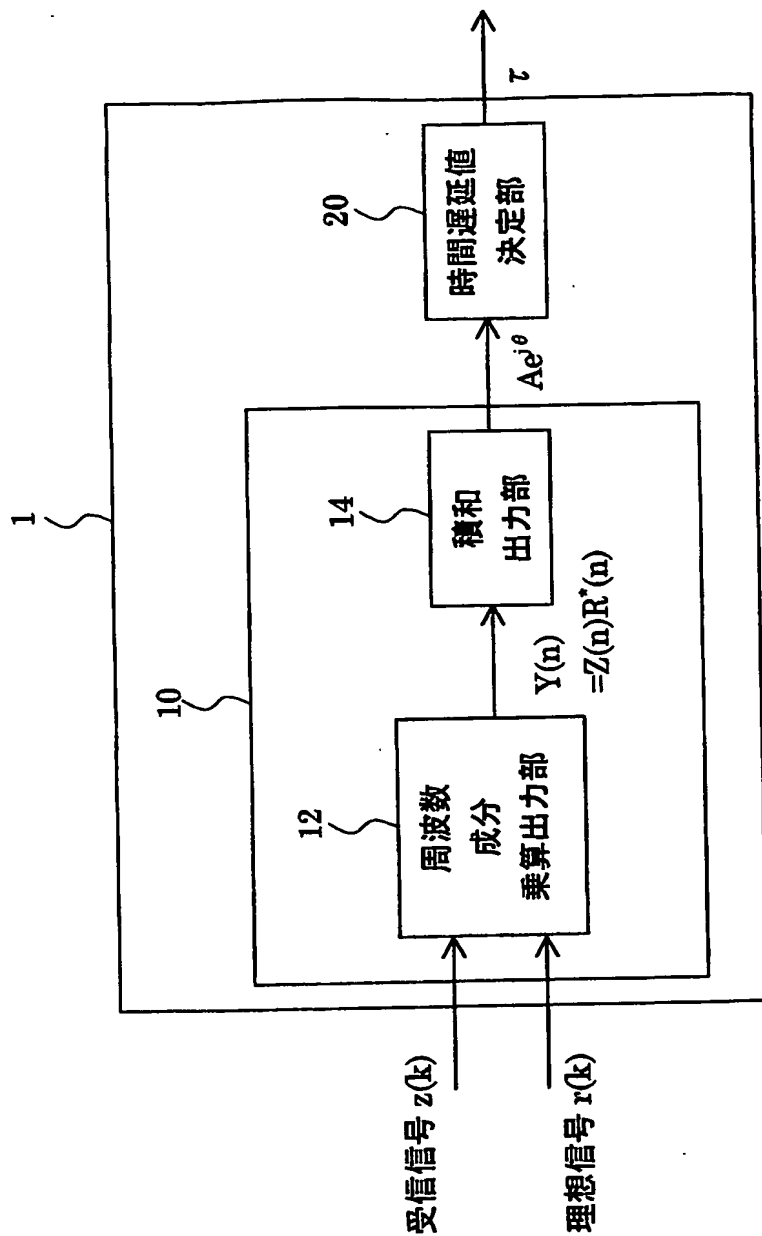
【符号の説明】

【0077】

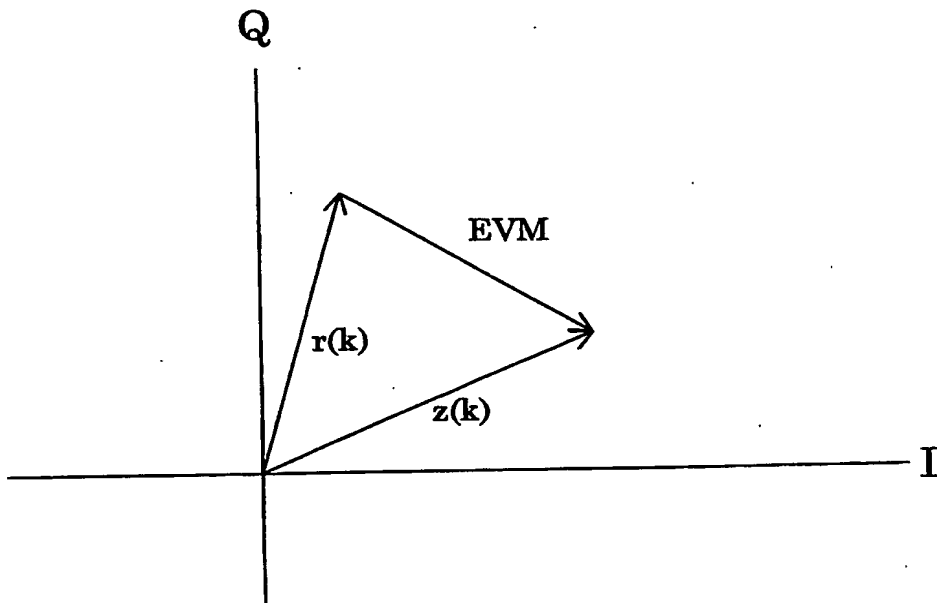
- 1 シンボル点推定装置
- 10 乗算積和出力部
- 12 周波数成分乗算出力部
- 122 FFT部 (理想信号周波数成分出力手段)
- 124 FFT部 (受信信号周波数成分出力手段)
- 126 複素共役出力部
- 128 乗算器 (周波数成分乗算出力手段)
- 121 複素共役出力部
- 123 畳み込み積分出力部
- 125 FFT部 (周波数成分出力手段)
- 14 積和出力部
- 141 実部取得部
- 142 実部積和部
- 143 虚部取得部
- 144 虚部積和部
- 146 複素数出力部
- 146a 乗算器
- 146b 加算器
- 20 時間遅延値決定部
- 22 偏角出力部

2 4 時間遅延値計算部

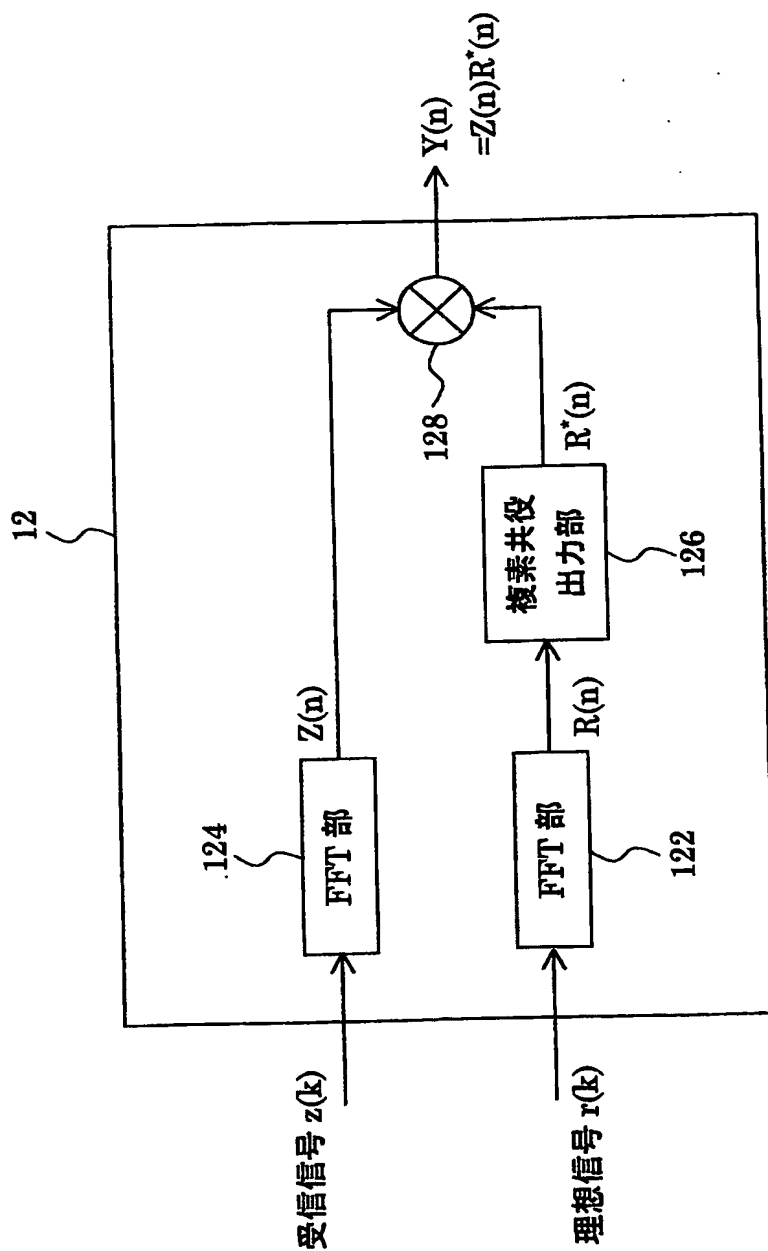
【書類名】 図面
【図 1】



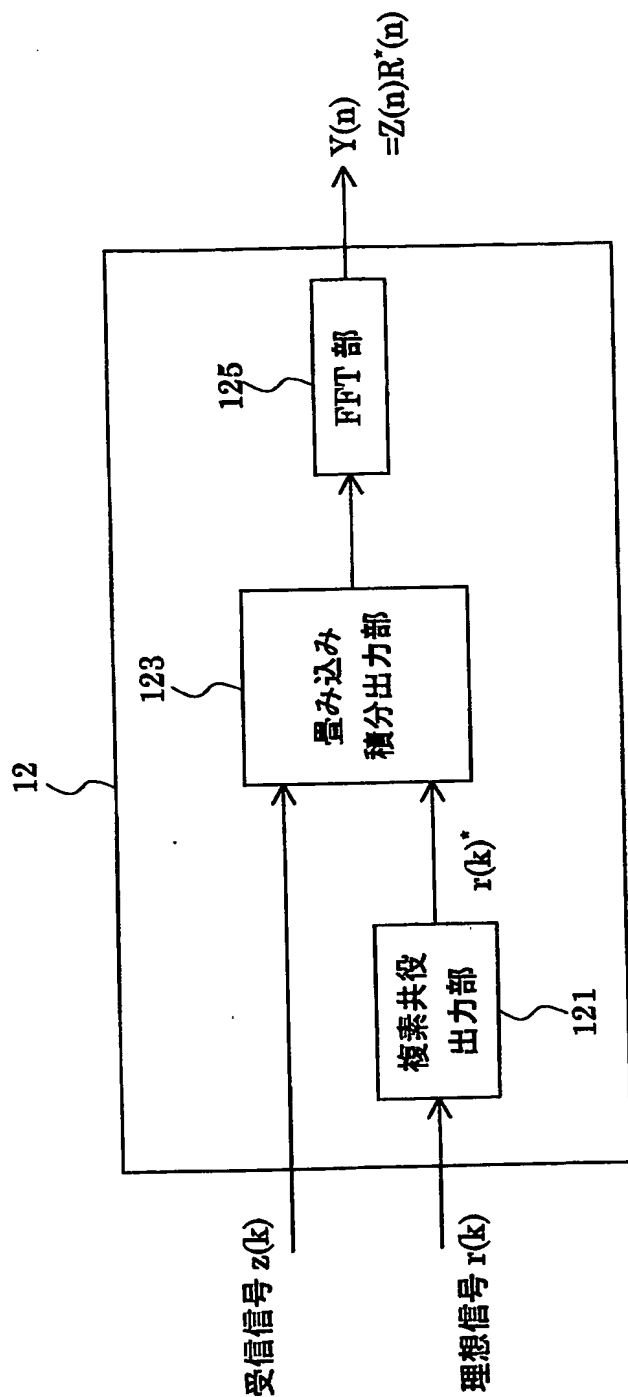
【図 2】



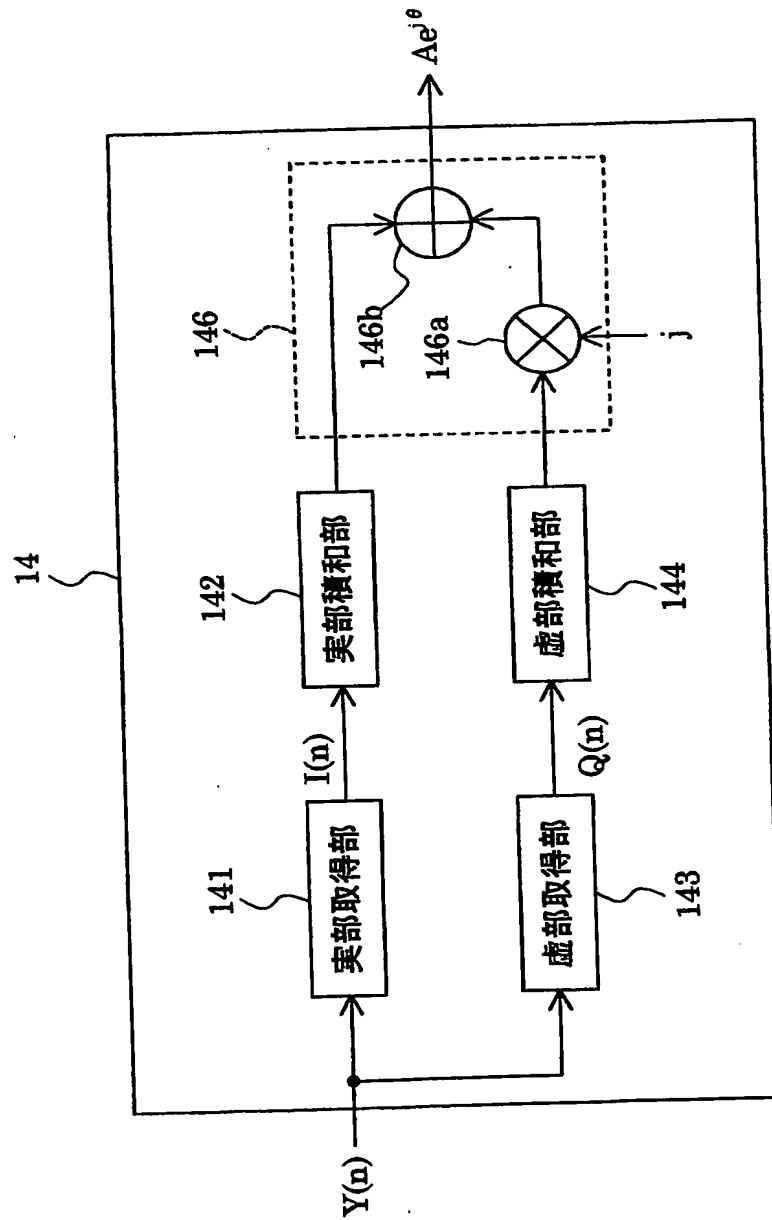
【図 3】



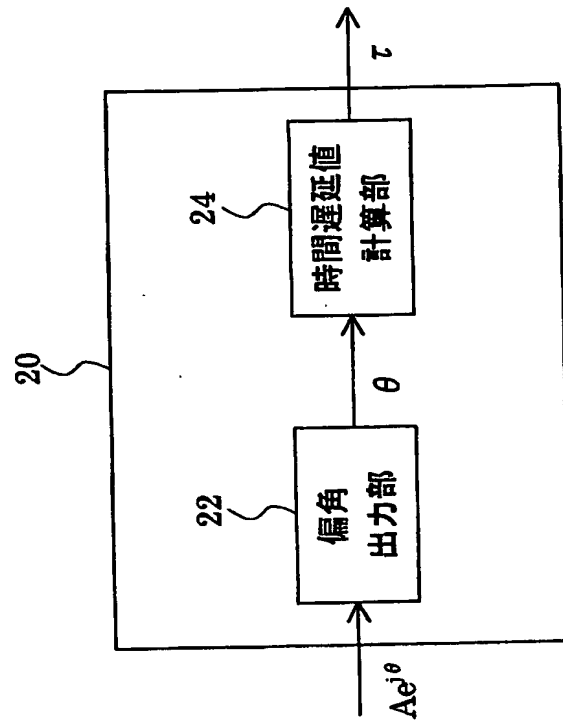
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 受信信号のシンボル点の測定を、より正確に行なう。

【解決手段】 サンプル周波数 f_s でサンプリングされた受信信号 $z(k)$ のサンプリング点と受信信号 $z(k)$ のシンボル点との間の時間遅延値 τ を決定することにより受信信号 $z(k)$ のシンボル点を推定するシンボル点推定装置 1 であって、理想信号 $r(k)$ の周波数成分 $R(n)$ の複素共役 $R(n)^*$ と受信信号 $z(k)$ の周波数成分 $Z(n)$ との乗算結果 $Y(n) = Z(n)R(n)^*$ と、サンプリング角周波数 $\Delta\omega (=2\pi f_s/N; N$ は理想信号 $r(k)$ と受信信号 $z(k)$ との間の誤差成分計算長)との積和 $Ae^{j\theta}$ を出力する乗算積和出力部 10 と、乗算積和出力部 10 の出力に基づき、理想信号 $r(k)$ と受信信号 $z(k)$ との間の誤差成分 EVM が最小となるように時間遅延値 τ を決定する時間遅延値決定部 20 とを備える。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 3 6 8 4 7 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[3 9 0 0 0 5 1 7 5]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 1 0 月 1 5 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都練馬区旭町 1 丁目 3 2 番 1 号

氏 名

株式会社アドバンテスト